

(12) UK Patent Application (19) GB (11) 2 284 281 (13) A

(43) Date of A Publication 31.05.1995

(21) Application No 9424003.3

(22) Date of Filing 28.11.1994

(30) Priority Data

(31) 9325500 (32) 27.11.1993 (33) KR

(71) Applicant(s)

Samsung Electronics Co Limited

(Incorporated in the Republic of Korea)

416 Maetan-dong, Paldal-gu, Suwon-City,
Kyonggi-do, Republic of Korea

(72) Inventor(s)

Myung-Chan Jeong

(74) Agent and/or Address for Service

Dibb Lupton Broomhead
117 The Headrow, LEEDS, LS1 5JX, United Kingdom

(51) INT CL⁶

G11B 21/10

(52) UK CL (Edition N)

G3N NGE3A N372 N391A

U1S S2108

(56) Documents Cited

EP 0431577 A2 US 5182684 A

(58) Field of Search

UK CL (Edition N) G3N NGE3A NGE3AA NGE3AC

INT CL⁶ G11B 21/08 21/10

Online: WPI

(54) Digital servo control for a disk drive

(57) A servo control apparatus and method are capable of controlling the position of a head for recording digital data on a disk as recording medium and reading the digital data thereon. A digital servo control method controls a head driver for moving a head for reading servo information to a target track every predetermined sampling period in a data storage system using disk recording media including the servo information indicating a divisional position of a recording area. The method comprises the steps of detecting a current track position of the head in a current sampling period by determining information on a head position on a disk from the servo information, determining the current track position, an estimated speed in the next sampling period for moving to the target track by a control signal input to the head driver so that the head can be moved to the current track position, and an estimated position track of the head in the next sampling period, calculating a track interval between the target track and the estimated position track, and a target speed to move the head in correspondence with the interval, and calculating a difference value between the target speed and the estimated speed thereby to output a control signal corresponding to the difference value to the head driver.

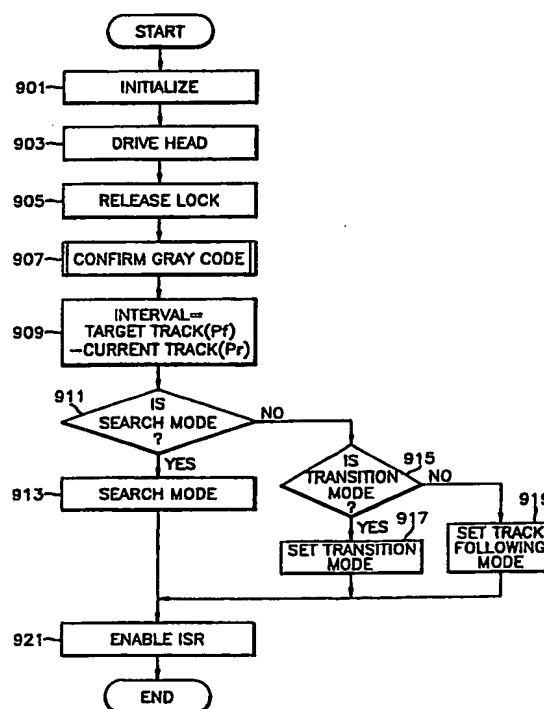


FIG.10

GB 2 284 281 A

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-192412

(43) 公開日 平成7年(1995)7月28日

(51) IntCl.⁶

G 1 1 B 21/08

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 8425-5D

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平6-293513

(22) 出願日 平成6年(1994)11月28日

(31) 優先権主張番号 1993 P 25500

(32) 優先日 1993年11月27日

(33) 優先権主張国 韓国 (K R)

(71) 出願人 390019839

三星電子株式会社

大韓民国京畿道水原市八達区梅灘洞416

(72) 発明者 鄭 明贊

大韓民国京畿道水原市八達区梅灘洞三星2

次アパート7棟503号

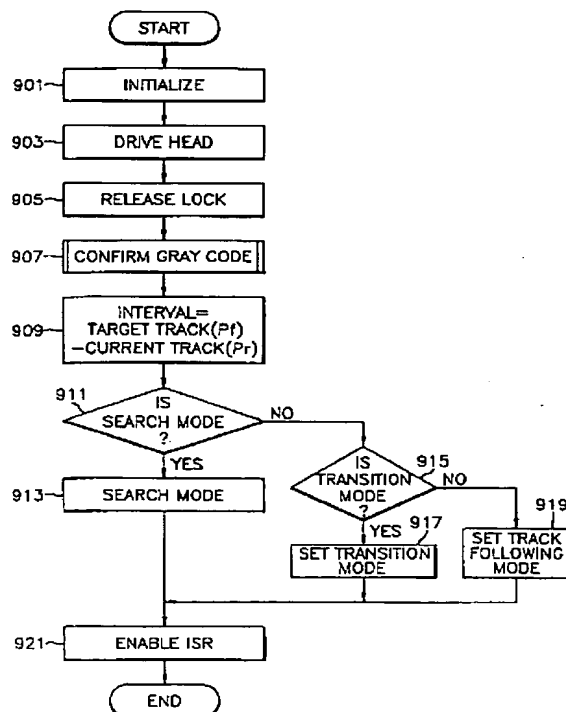
(74) 代理人 弁理士 高月 猛

(54) 【発明の名称】 ディスク状記録媒体を利用したデータ貯蔵装置のデジタルサーボ制御方法及びデジタルサーボ制御機構

(57) 【要約】

【目的】 動作モードの変化により差別的にヘッドの移動を制御するデジタルサーボ制御方法及びデジタルサーボ制御機構を提供する。

【構成】 記録区域の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとにサーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックに移動させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御方法について、サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する現在トラックを検出する現在トラック検索段階と、ヘッド駆動部に入力された制御信号と検出された現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とヘッドの位置する推定位置トラックを推定する推定段階と、目標トラックと推定位置トラックとの間のトラック間隔に対応してヘッドを目標トラックに移動させるための目標速度を計算する目標速度計算段階と、目標速度と推定速度との間の差異値に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力する制御信号出力段階と、を含んだものとする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 記録区域の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックに移動させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御方法において、前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する現在トラックを検出する現在トラック検索段階と、ヘッド駆動部に入力された制御信号と前記現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とヘッドが位置する推定位置トラックを推定する推定段階と、目標トラックと推定された推定位置トラックとの間のトラック間隔に対応してヘッドを目標トラックに移動させるための目標速度を計算する目標速度計算段階と、得られた目標速度と推定された推定速度との間の差異値に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力する制御信号出力段階と、を含んでなることを特徴とするデジタルサーボ制御方法。

【請求項 2】 目標速度計算段階が、推定位置トラックと目標トラックとの間のトラック間隔を検出するトラック間隔検出段階と、検出されたトラック間隔を所定の基準間隔と比較するトラック間隔比較段階と、比較の結果、検出されたトラック間隔が基準間隔以上の場合は検出されたトラック間隔に対応する目標速度を計算する第 1 目標速度計算段階と、比較の結果、検出されたトラック間隔が基準間隔以下の場合はサーボ情報から目標トラックと推定位置トラックとの間のランユニット間隔を求め、該ランユニット間隔に対応して目標速度を計算する第 2 目標速度計算段階と、を含んでなる請求項 1 記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項 3】 記録区分の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックの中央位置にトラック追従させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御方法において、前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置するトラック上の現在位置エラー信号を検出する現在位置エラー信号検索段階と、以前のサンプリング周期でヘッド駆動部に入力された制御信号及び現在位置エラー信号から、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度、次のサンプリング周期でのヘッドの推定位置エラー信号、及び、次のサンプリング周期の間に入力される外部バイアス力を推定した推定バイアス力を算出する推定段階と、推定された推定速度、推定位置エラー信号、及び推定バイアス力、そして外部バイアス力から制御信号を生成してヘッド駆動部に出力する制御信号出力段階と、を含んでなることを特徴とするデジタルサーボ制御方法。

【請求項 4】 記録区域の分割位置を示すサーボ情報を

備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックの中央位置に移動させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御方法において、

前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する位置トラックを検出する現在トラック検索段階と、目標トラックと現在トラックとのトラック間隔を検出するトラック間隔検出段階と、検出されたトラック間隔を所定の基準トラックと比較する基準トラック比較段階と、比較の結果、検出されたトラック間隔が基準トラック以上の場合はサーボ制御モードを第 1 サーボモードに指定する第 1 サーボモード指定段階と、比較の結果、検出されたトラック間隔が基準トラック以下の場合は検出されたトラック間隔を所定のランユニット単位に分割してランユニット間隔を計算するランユニット間隔検出段階と、得られたランユニット間隔を所定の基準ランユニット間隔と比較する基準ランユニット比較段階と、比較の結果、得られたランユニット間隔が基準ランユニット間隔以上の場合はサーボ制御モードを第 2 サーボモードに指定する第 2 サーボモード指定段階と、比較の結果、得られたランユニット間隔が基準ランユニット間隔以下の場合はヘッドが位置する現在の位置から目標トラックの中央位置までの位置エラー信号間隔を求める位置エラー信号間隔計算段階と、得られた位置エラー信号間隔を所定の基準位置エラー信号間隔と比較する基準位置エラー信号比較段階と、比較の結果、得られた位置エラー信号間隔が基準位置エラー信号間隔以上の場合はサーボ制御モードを第 3 サーボモードに指定する第 3 サーボモード指定段階と、比較の結果、得られた位置エラー信号間隔が基準位置エラー信号間隔以下の場合はセトリング動作を遂行するセトリング段階と、第 1 サーボモード指定に対応して、以前サンプリング周期でヘッド駆動部に入力された以前制御信号と現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度と推定位置トラックを推定し、推定された推定速度及び推定位置トラック、そして現在トラックから目標トラックの中央位置にヘッドを移動させるための制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準トラック比較段階を遂行する第 1 サーボモード遂行段階と、第 2 サーボモード指定に対応して、前記サーボ情報からランユニット単位でヘッドが位置する現在位置を求め、得られた現在位置と以前制御信号から、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とランユニット単位の推定位置を推定し、推定された推定速度及び推定位置、そして現在位置から制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準ランユニット比較段階を遂行する第 2 サーボモード遂行段階と、第 3 サーボモード指定に対応して、前記サーボ情報から位置エラー信号単位でヘッドが位置する現在位置を求め、得られた現在位置及び以前制御信号から、次

のサンプリング周期でのヘッドの推定速度、推定位置、及び推定バイアス力を推定し、推定された推定速度、推定位置、及び推定バイアス力、そして現在サンプリング周期で入力される外部バイアス力から制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準位置エラー信号比較段階を遂行する第3サーボモード遂行段階と、を含んでなることを特徴とするデジタルサーボ制御方法。

【請求項5】 第1サーボモード遂行段階が、第1サーボモード指定に対応して、以前サンプリング周期でヘッド駆動部に入力されている以前制御信号と現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度と推定位置トラックを推定する推定段階と、目標トラックと推定された推定位置トラックとの間のトラック間隔に対応する目標速度を計算する目標速度計算段階と、得られた目標速度と推定された推定速度との差異値に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準トラック比較段階を遂行する制御信号出力段階と、を含んでなる請求項4記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項6】 第2サーボモード遂行段階が、第2サーボモード指定に対応して、サーボ情報からランユニット単位でヘッドが位置する現在位置を計算する現在位置計算段階と、得られた現在位置と以前制御信号から、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とランユニット単位の推定位置を推定する推定段階と、目標トラックの中央位置と推定された推定位置との間のランユニット間隔に対応する目標速度を求め、得られた目標速度と推定された推定速度との間の差異に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準ランユニット比較段階を遂行する制御信号出力段階と、を含んでなる請求項5記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項7】 第2サーボモード遂行段階が、第2サーボモード指定に対応して、サーボ情報からランユニット単位でヘッドが位置する現在位置を計算する現在位置計算段階と、得られた現在位置と以前制御信号から、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とランユニット単位の推定位置を推定する推定段階と、目標トラックの中央位置と推定された推定位置との間のランユニット間隔に対応する目標速度を求め、得られた目標速度と推定された推定速度との間の差異に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力し、基準ランユニット比較段階を遂行する制御信号出力段階と、を含んでなる請求項4記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項8】 基準トラック間隔が16トラックである請求項4記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項9】 基準ランユニット間隔が8ランユニットである請求項4記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項10】 基準位置エラー信号間隔が200PE Sである請求項4記載のデジタルサーボ制御方法。

【請求項11】 記録区域の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置

で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックに移動させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御機構において、所定の移動距離による目標速度を記録する記憶手段と、前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する現在トラックを検出する検出手段と、以前サンプリング周期でヘッド駆動部に入力された以前制御信号と検出された現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度と位置トラックを推定する推定手段と、目標トラックと推定された推定位置トラックとのトラック間隔に対応する目標速度を前記記憶手段から求め、得られた目標速度と推定された推定速度との差異値に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力する制御信号出力手段と、から構成されることを特徴とするデジタルサーボ制御機構。

【請求項12】 推定手段が、予測推定アルゴリズムを内蔵するマイクロプロセッサである請求項11記載のデジタルサーボ制御機構。

【請求項13】 記録区域の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読み出すヘッドを目標トラックの中央位置にトラック追従させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御機構において、前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する目標トラック上の位置エラー信号を現在位置に検出する検出手段と、ヘッドを目標トラックの中央位置に移動させるために、以前サンプリング周期でヘッド駆動部に入力された制御信号及び現在位置エラー信号から、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度、次のサンプリング周期でのヘッドの推定位置エラー信号、及び、次のサンプリング周期の間に入力される外部バイアス力を推定した推定バイアス力を算出する推定手段と、推定された推定速度、推定位置エラー信号、及び推定バイアス力、そして外部バイアス力に対応してヘッド駆動部を制御するための制御信号を生成出力する制御信号出力手段と、から構成されることを特徴とするデジタルサーボ制御方法。

【請求項14】 推定手段が、予測推定アルゴリズムを内蔵するマイクロプロセッサである請求項13記載のデジタルサーボ制御機構。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置（以下“ディスク記録装置”とする）のサーボ制御機構に関するもので、特に、ディスク状記録媒体にデジタルデータの記録及び読出を行うためのヘッドの位置を制御するサーボ制御方法及びそのためのサーボ制御機構に関する。

【0002】

【従来の技術】一般のディスク記録装置の代表例であるハードディスクドライバ（Hard DiskDriver：以下“HDD”とする）におけるヘッドの移動については、その移動距離に従って、探索モード（Seek Mode）とトラック追従モード（Track Following Mode）に区別できる。探索モードは目標トラックに到達するためにトラック間を移動するモードで、トラック追従モードは最終目標トラックに到達したヘッドを正確にトラックのデータ線上に位置させるためのモードを意味する。

【0003】このようなHDDのヘッド位置の制御方法は、目標位置に到達するまでは速度制御（Velocity Control）で遂行され、目標位置では“オントラック（on-track）”のための位置制御（Position Control）で遂行される。

【0004】図1は、一般のHDDにおけるトラック移動距離に対するヘッドの移動速度を示す特性図である。同図において、X1までは加速区間、X1～X2は定速区間、X2～X3は減速区間を示し、そしてX3は目標トラックの位置を示す。

【0005】図2は、図1に示すX2～X3の減速区間でのヘッドの移動速度を詳細に示す特性図であって、X2～X2'は第1減速区間、X2'～X3は第2減速区間を示す。

【0006】探索モードは、図1に示すようにX2～X3の区間すなわち減速区間での遂行モードを意味する。この探索モードにおいては、X2～X3の減速区間をより詳細に示した図2のように、第1減速区間で探索モードが遂行され、第2減速区間で遷移モード（Transition Mode）が遂行される。つまり、探索モードは探索モードと遷移モードに区分され、その際、帰還（Feedback）されるサーボ情報としてグレーコード（Gray Code）を用いたトラック番号を使用する。

【0007】一方、トラック追従モードでは、サーボ情報としてA、Bバーストを利用した位置エラー信号（Position Error Signal：以下“PES”とする）を利用するようになっている。

【0008】以上の各モードに応じた制御方法に従来では、補償器（Compensator）あるいはPID（Proportional Integral Derivative）制御器を使用していた。

【0009】図3は、ディスク記録装置において、デジタルデータの読出／書込のためのヘッドの位置を制御する従来のサーボ制御機構の制御系を示すブロック構成図である。同図において、プラント（Plant）はディスク記録装置のヘッド位置を調節するボイスコイルモータ（Voice Coil Motor：以下“VCM”とする）を示す。同図のサーボ制御系による減速区間での目標速度値は、次の数式1により得られる。

【0010】

【数1】

$$V_{TBL} = K (P_f - P_r)^{\alpha}$$

（ V_{TBL} ：目標速度、 P_f ：目標位置、 P_r ：実際位置、 K ：比例定数）

【0011】この数式1で、比例定数 K はVCMの加速能力により決定され、次数 α は一般的に0.5～1の間を使用する。数式1で計算された目標速度値は、ルックアップテーブル（Look-up Table）内の速度値としてROM（図示せず）に貯蔵されている。

【0012】以下、従来のサーボ制御機構を図3を参照して説明する。

【0013】従来のサーボ制御機構はハードウェアに依存するアナログ、あるいはアナログとデジタルとの混合制御装置であって、ヘッドはサンプリング時間ごとにトラックのサーボ情報を示すグレーコード値を通じて現在位置するトラックの番号を読出す。したがって、次の数式2により実際位置 P_r から目標位置 P_f への移動距離 X が定まる。

【0014】

【数2】 $X = P_f - P_r$

【0015】その後、上記ルックアップテーブルから移動距離 X に対する目標速度 V_{TBL} を求める。すなわち、移動距離 X が定まると、移動距離 X に対する目標速度 V_{TBL} が得られ、そして探索モードが決定される。

【0016】しかし、実際速度 V_r は通常、実際位置 P_r の以前のサンプリング値と現在のサンプリング値との差から求められる。したがって、探索モードと遷移モードに区分される探索モードでは、上記のようにして求められる目標速度 V_{TBL} と実際速度 V_r から次の数式3により得られる制御入力 u により速度制御が遂行される。つまり、数式3により制御入力 u を得てVCMに入力電流を印加する。

【0017】

【数3】 $u = K [V_{TBL} - V_r]$

【0018】この数式3で、 K は制御系の比例定数を示す。以後、ヘッドが目標位置 P_f に到達すると、遂行モードがトラック追従モードに切り換えられる。

【0019】トラック追従モードでは、A、BバーストからPESを求めてヘッドを目標トラック（on-track）にセツリング（Settling）させる位置制御を遂行する。ここで制御入力 u が、通常使用されるPID制御器の場合、次の数式4により新たに求められる。

【0020】

【数4】 $u = K_p P_r - K_v V_r$

【0021】この数式4における K_p 、 K_v は制御系定数で、それぞれ位置制御定数及び速度制御定数を示す。

【0022】ところで、以上のような従来のサーボ制御機構には、次に説明するような問題点がある。すなわち、実際速度 V_r は次の数式5を利用して求められる。

【0023】

【数5】

$$V_r(K) = \frac{P_r(k) - P_r(k-1)}{T_s}$$

【0024】この式中の T_s はサンプリング間隔を示す。この数式5による計算値は、 T_s がだんだん小さくなる場合と実際位置 P_r が急激に変わる場合とで、多くの誤差が発生する。これにより、検索モードや遷移モードでVCMの予測できない幅差が発生するという問題点がある。

【0025】また、帰還される情報が、位置情報（トラック番号、PES）と誤差が予想される速度情報とで構成される全体状態帰還（Full State Feedback）を使用するトラック追従モードでは、不安定な速度情報により完璧な制御性能を得難い。さらに、外部妨害（External Disturbance）に対する直接的除去方法がないので、トラック追従モードで定常状態誤差（Steady State Error）の発生する可能性がある。このような誤差は積分制御器（Integral Controller）を使用して間接的に制御可能ではあるが、記録媒体の全データ領域について制御してエラーを除去することはできない。

【0026】加えて、遷移モードが目標位置から約16トラック前に遂行されて目標位置に到達するときのヘッドの進入速度を低下させ、探索時間が長くなってもヘッドの安定したセトリングを可能にすることを優先させている。しかしながら、従来の遷移モードでは、グレーコードを利用して現在位置を認識するようになっており、グレーコードを利用したトラック位置情報のみで速度制御を行うため、遷移モード区間での正確な制御が難しく、したがってトラック追従モードのセトリングに大きな影響を及ぼしている。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、動作モードの変化により差別的にヘッドの移動を制御するデジタルサーボ制御機構を提供することにある。また、本発明の他の目的は、外部妨害を排除したサーボ制御が可能なデジタルサーボ制御機構を提供することにある。加えて、本発明の更なる他の目的は、動作モードの変化により差別的にヘッドの移動を制御するデジタルサーボ制御方法を提供することにある。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明は、記録区域の分割位置を示すサーボ情報を備えたディスク状記録媒体を利用するデータ貯蔵装置で、所定のサンプリング周期ごとに前記サーボ情報を読出すヘッドを目標トラックに移動させるためのヘッド駆動部を制御するデジタルサーボ制御方法について、前記サーボ情報から現在サンプリング周期でヘッドが位置する現在トラックを検出する現在トラック検索段階と、ヘッド駆動部に入力された制御信号と前記現在トラックから、次のサンプリング周期でのヘッドの推定速度とヘッドの位置する推定位置トラッ

クを推定する推定段階と、目標トラックと推定された推定位置トラックとの間のトラック間隔に対応してヘッドを目標トラックに移動させるための目標速度を計算する目標速度計算段階と、得られた目標速度と推定された推定速度との間の差異値に対応する制御信号をヘッド駆動部に生成出力する制御信号出力段階と、を含んだ制御方法とすることを特徴としている。

【0029】

【実施例】以下、本発明の好適な実施例を添付の図面を参照して詳細に説明する。

【0030】図4に、本発明によるディスク状記録媒体を利用したデータ貯蔵装置の実施例をブロック構成図で示す。マイクロプロセッサ401は、その制御プログラム及び予測推定器アルゴリズム等を貯蔵したプログラマブルROM（Programable Read Only Memory：以下“PROM”とする）403と、スタティックRAM（Static Random Access Memory：以下“SRAM”とする）405とに接続されている。

【0031】ヘッド407はディスク状記録媒体409上を水平運動してディスク状記録媒体409に対するデータの読出及び書込を行う。VCM（Voice Coil Motor）411はアクチュエータ（Actuator）でヘッド407と接続され、ヘッド407をディスク状記録媒体409上で水平方向に駆動する。スピンドルモータ（Spindle Motor）413は回転運動アクチュエータで、駆動軸にディスク状記録媒体409が連結されて回転させる。

【0032】VCM駆動器415はVCM411に接続されてVCM411の駆動制御を行う。D/A変換器（Digital/Analog Converter）417はマイクロプロセッサ401とVCM駆動器415とに接続され、マイクロプロセッサ401からデジタルの制御入力信号 u を受けてアナログ信号に変換し、VCM駆動器415に出力する。モータ駆動器419はスピンドルモータ413とマイクロプロセッサ401に接続され、マイクロプロセッサ401の制御によりスピンドルモータ413の駆動制御を行う。増幅器421はヘッド407に接続されて読出された信号を増幅出力し、また書込まれる入力信号を増幅してヘッド407に出力する。

【0033】インタフェース制御部429はマイクロプロセッサ401によって制御されて外部データ入力装置（図示せず）とデータを送受信する。読出デコーディング及び書込エンコーディング部423は、マイクロプロセッサ401、増幅器421、及びインタフェース制御部429に接続されており、マイクロプロセッサ401によって動作制御され、インタフェース部429から書込データを受けてアナログフラックス（Flux）変化信号にエンコーディングして増幅器421に出力し、また増幅器421から入力されるアナログ読出信号をデジタル変換してエンコード読出データ（Encoded Read Data；以下“ERD信号”とする）として出力する。

【0034】A/D変換器 (Analog/Digital Converter) 425は、読出デコーディング及び書込エンコーディング部423に接続され、アナログサーボ読出信号を受けてPESにデジタル変換し、マイクロプロセッサ401に出力する。ゲートアレイ427は、読出デコーディング及び書込エンコーディング部423に接続され、ERD信号を受けてこれからディスク状記録媒体409のサーボ領域内のグレーコード等の各サーボ情報を検出し、出力する。

【0035】以上の構成において、マイクロプロセッサ401は、予測推定器アルゴリズムと制御プログラムをローディングしてデジタルサーボ制御機構の全般的な制御動作を遂行するものである。

【0036】図5は、デジタルサーボ制御系についてのブロック構成図である。予測推定器はアルゴリズム形態でマイクロプロセッサ401に内蔵される。この予測推定器は公知の技術で、G.F.Franklin等による「Digital control of Dynamic System(2nd Edition)」に開示されている。

【0037】図5において、 K_{DAC} はD/A変換器、 K_{ADC} はA/D変換器、 K_{AMP} は電力増幅器トランスコンダクタンス、 K_m はVCMトルク定数、 J はスイングアーム慣性モーメント、 K_{arm} はスイングアーム部、 T_D は外部妨害、 T_m はVCMアクチュエータのトルク、 a [RAD/S²] はアクチュエータ角加速度、 V [RAD/S] はアクチュエータ角速度、 X [RAD] はアクチュエータ角変位 (実変数ベクトル) を意味する。

【0038】図6は図5の構成において使用される予測推定器のブロック図、図7は検索及び遷移モード時の制御系ブロック図、図8はトラック追従モード時の制御系ブロック図である。これら図6、図7、図8において、 P_{est} は推定器で計算された推定位置情報、 V_{est} は推定器で計算された推定速度情報、 W_{est} は推定器で計算された推定バイアス力、 V_{TBL} は速度曲線図 (ルックアップテーブル) での目標速度値、 K は制御系定数、 L は推定器定数、 X は実変数ベクトル、 \bar{X} は推定状態変数ベクトル、 Y はプラントの出力ベクトル、 \bar{y} はモデルの推定出力ベクトルを意味する。

【0039】図9は、この例のディスク状記録媒体のトラックとA、Bバーストを示すサーボフレーム (Servo Frame) の概略図である。また、図10はこの例の制御についてのメインフローチャート、図11は図10における検索モードISR (Interrupt Service Routine) 過程についてのフローチャート、図12は図10における遷移モードISR過程についてのフローチャート、図13は図10におけるトラック追従モードISR過程についてのフローチャートである。

【0040】以下、この実施例におけるディスク記録装置のデジタルサーボ制御方法とそのサーボ制御機構について詳細に説明する。

【0041】まず、デジタルサーボ制御系について説明する。ディスク記録装置のデジタルサーボ制御系でプラント (Plant : HDD Dynamics) のモデルを状態方程式 (State Equation) で表すと、次の数式6のようになる。

【0042】

$$【数6】 X(k+1) = \Phi X(k) + \Gamma u(k)$$

【0043】ここで、 Φ 、 Γ はプラント定数を示すマトリックス (Matrix) で、 $X(k)$ は実変数ベクトルとして次の数式7のようにして表わされる。

【0044】

【数7】

$$X(k) = \begin{bmatrix} P_r \\ V_r \end{bmatrix}$$

(P_r : 実際位置, V_r : 実際速度)

【0045】この実施例では、実際速度 V_r の推定誤差を減少させるために予測推定器 (Prediction Estimator) を使用して推定速度 V_{est} を求める。図6に示した予測推定器は次の数式8、9のように与えられる。

【0046】

【数8】

$$\bar{X}(k+1) = \Phi \bar{X}(k) + \Gamma u(k) + L[y(k) - \bar{y}(k)]$$

【0047】

【数9】

$$\bar{X}(k) = \begin{bmatrix} P_{est} \\ V_{est} \end{bmatrix}$$

【0048】ここで、 P_{est} は実際位置 P_r の推定位置 (Estimated value) を、 V_{est} は実際速度 V_r の推定値を意味する。

【0049】これら数式8、9で、プラント及びモデルの出力ベクトル $[y(k), \bar{y}(k)]$ は $[P_r(k), P_{est}(k)]$ となる。 L は予測推定器の帰還利得マトリックス (Feedback Gain Matrix) を意味する。

【0050】図6で推定された位置情報 P_{est} と速度情報 V_{est} が、プラントから実際に測定された位置情報 P_r をもって推定器を通じて得られる。

【0051】また、この例では、外部妨害の除去を直接的に処理するためにバイアス推定を使用する。外部妨害 W は単に一定の定数と仮定し、バイアスモデルを適用したときの状態方程式は次の数式10、11の通りである。

【0052】

【数10】

$$\bar{X}(k+1) = \Phi_w \bar{X}(k) + \Gamma_w u(k)$$

【0053】

【数11】

$$\bar{X}(k) = \begin{bmatrix} P_{est} \\ V_{est} \\ W_{est} \end{bmatrix}$$

【0054】数式10で、 W_{est} は推定したバイアス値を示し、上記数式6及び数式8での Φ 、 Γ と数式10での Φ_w 、 Γ_w は相互に異なる。その理由は、数式9及び数式11に示すように、状態変数ベクトル $\bar{X}(k)$ の構成が異なるからである。数式10のようなバイアス*

*推定はトラック追従モードのみで適用される。

【0055】さらに、この例では、遷移モードの制御分解能 (Resolution) を高めるために、従来のグレーコードによるトラック番号と、A、Bバーストを利用したPES位置情報を共に使用する。以上のような探索モードに対応する位置情報を下記の表1にまとめて示す。

【0056】

【表1】

モード 分類	検 索	遷 移	ト ラ ッ ク 追 従
制 御 状 態	速 度 制 御	速 度 制 御	位 置 制 約
減 速 区 間	第 1 減 速 区 間	第 2 減 速 区 間	な し
推定状態変数 \bar{X}	$\bar{X} = \begin{bmatrix} P_{est} \\ V_{est} \end{bmatrix}$	$\bar{X} = \begin{bmatrix} P_{est} \\ V_{est} \end{bmatrix}$	$\bar{X} = \begin{bmatrix} P_{est} \\ V_{est} \\ W_{est} \end{bmatrix}$
測定位置情報	トラック番号 (グレーコード)	トラック番号 及びPES	PES (A、Bバースト)
制 御 式	$u = K_1 [V_{ref} - V_{est}]$	検索モードと同一	$u = -K_P P_{est} - K_V V_{est} - W_{est}$
予測推定器	検索及び遷移モード $\bar{X}(k+1) = \Phi \bar{X}(k) + \Gamma u(k) + L_s [y(k) - \bar{y}(k)]$		
	トラック追従モード $\bar{X}(k+1) = \Phi_w \bar{X}(k) + \Gamma_w u(k) + L_r [y(k) - \bar{y}(k)]$		

【0057】以下、図7及び図8のブロック構成図による制御モード別制御系の状態は表1の通りである。

【0058】表1で、サーボ制御設計時に決定しなければならない定数 (Gain) は制御系定数Kと推定器定数Lである。したがって、モードにより前記定数を整理すると、下記の数式12)～数式15の通りである。

【0059】検索及び遷移モード

【0060】

【数12】 $K = K_1$

【0061】

【数13】

$$L_s = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix}$$

【0062】トラック追従モード

【0063】

【数14】 $K = [K_P \ K_V]$

【0064】

【数15】

$$L_T = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix}$$

【0065】以上の数式12～数式15において、K、Lのマトリックス値は、2次系モデルから制動係数 (Damping Coefficient) 及びセトリング時間を考慮した公知のポールプレースメント (Pole-Placement) 方法を利用して求める。

40

【0066】この例では、遷移モード制御分解能の向上のためにトラック位置情報及びPESを同時に利用して改善された速度制御を達成する。

【0067】各モード別現在のトラック位置 P_r の計算方法は下記に示す表2の通りである。

【0068】

【表2】

モ ー ド	位 置 単 位	トラック当り分解能	測 定 変 数
検 索	ト ラ ッ ク	1	グレーコード
遷 移	トランユニット	16	グレーコード 及びPES
トラック追従	PES	1024	PES

【0069】検索モードで移動距離 ($|P_r - P_e|$) が16トラック以内になると、検索から遷移が遂行され、目標位置 P_e の境界に到達すると (すなわち8トランユニット以内)、トラック追従モードに転換してこれが遂行される。

【0070】次に、図9を参照して遷移モードにおけるトランユニットの計算の一例を説明する。遷移モードにおいて、1トラックは16トランユニットで計算され、1トラック内にはPESにより16制御分解能 (Control resolution) を有することになる。

【0071】現在ヘッドが‘N’トラックの中央でオフトラック (off-track) されてC地点に位置していると仮定し、目標位置が‘N+3’トラックのときには実際のヘッドの移動距離は3トラックとなるが、トランユニットの計算としては、(3トラック×16トランユニット) + α となる。ここで、‘N’トラックでC地点の位置はPESによって求められる。トラック追従モードにおいて、1トラックはトラック中央を中心に+512〜-511PES (1024分解能) で計算される。したがって、1トラック内でトランユニットはPESを64で割って求める。もし、図9でヘッドの位置であるC地点でのPESが256であれば、 α は256/64=4である。したがって、このような場合に遷移モードで移動すべきヘッドの位置は48+4=52である。

【0072】遷移モードでの速度曲線 (図2の第2減速区間) は16トラック×16トランユニット=256に該当する移動間隔からなり、図9の一例では移動間隔52だけに該当する速度が目標速度に定められ、速度制御が遂行される。ルックアップテーブルは、検索モード及び遷移モードでの減速状態と、検索モード、遷移モード、及びトラック追従モードに必要な K_d (順方向制御系定数)、 K (制御系定数)、及び L (推定器定数) で構成されている。そして、検索モードでの減速状態は目標トラック前の250トラックから適用され、遷移モードでの減速状態は目標トラック前の16トラックから適用される。

【0073】各減速状態は次の数式16の次数 α を調整して求める。

【0074】

【数16】

$$V = K \cdot X^\alpha$$

(V: 目標速度, X: 目的移動距離, K: 比例定数)

【0075】この数式16において、 K はVCMの加速能力に従って定められ、本実施例では検索モード及び遷移モードで α の値をそれぞれ0.8及び0.85に差別化する。もちろん、目標移動距離 X の単位は検索モードではトラックで、遷移モードではトランユニットである。

【0076】これら正数は、全体のヘッド作動範囲を6個の作動点 (Operating point) に分けて差別化した。この K_d は次のように求められる。

【0077】

【数17】

$$K_d = \frac{K_{DAC} \cdot K_{amp} \cdot K_m \cdot K_{arm}}{J}$$

【0078】この数式17は連続システム (continuous system) での定数を示す。実際のシミュレーション時にはサンプリング時間を考慮したデジタル系に相応する定数を使用しなければならない。数式17で、作動点により一番変化される変数は K_m (VCMトルク定数) である。したがって、ルックアップテーブルで6個の区域に分けて使用される定数は、この K_m の変化を補償するためである。

【0079】以下、上述した図4〜図8の構成及び動作説明を参照して、図10〜図13の各遂行フローチャートを用いて説明する。

【0080】マイクロプロセッサ401は、VCM駆動器415及びゲートアレイ427等の素子及びコード上で必要な変数の初期化作業を遂行する (ステップ901)。その後、マイクロプロセッサ401はディスク記録装置の停止時に安全区域 (Parking Zone) に停止してあるヘッドを駆動する (ステップ903)。

【0081】このとき、一般の小型HDDでは、ヘッドが浮び上がるときのヘッド固着 (Stick) という問題が生じる。本実施例ではそのヘッド固着の問題を解決するために、“アンロッキング” 遂行前に公知の“ヘッド振り” 過程を遂行する。すなわち、VCMに印加される適正な微小電流の極性を反復して変化させてヘッドを振ることにより、ヘッドが浮び上がるときのヘッド固着の問題を解決する。

【0082】スピンドルモータの定速度 (3600RPM) に到達した後、回転器具を動作させるためのアンロッキング段階を遂行する (ステップ905)。このアンロッキング過程は、ディスク記録装置の駆動初期に、ヘ

10

20

30

40

50

ッド407が取り付けられた回転器具を安全区域からトラック零の位置に移動させて駆動用意の状態とすることを意味する。

【0083】マイクロプロセッサ401は、ヘッド407から入力されるトラックのグレーコードを受けて現在ヘッドが位置した現在トラック P_r を感知する（ステップ907）。そして、マイクロプロセッサ401は、目標トラック P_e とステップ907で感知された現在トラック P_r との間隔を計算して目標トラック P_e までの移動距離 X を計算する（ステップ909）。次いで、マイクロプロセッサ401は、ステップ911～ステップ919を遂行して移動距離 X に対応する各該当モード（検索、遷移、トラック追従）をセッティングする。その後、マイクロプロセッサ401は、セッティングされた該当モードに従ってISR（Interrupt Service Routine）過程を遂行する（ステップ921）。

【0084】このとき、ISR過程を遂行する前に、図10の該当セッティング段階（ステップ913、917、919）で制御器及び推定器の定数をテーブルで選定し、状態変数のスケール作業を遂行してISR遂行の用意作業をする。このISR遂行の用意過程の一例として、バイアス測定（BIAS Calibration）動作が遂行される。このバイアス測定動作は駆動準備前にただ1回のみ実行されるモジュールで、駆動時ごとに異なる器具系の外部妨害を測定して、この外部妨害が補償されるようにする。このとき、回転器具の前進及び後進時にバイアス力の差が大きいと、両方向に対する測定が必要である。

【0085】バイアス測定で計算されたバイアス力はRAMに貯蔵されてISR過程で使用される。そして、RAMの利用可能な記憶容量及びディスク記録装置のスピンアップ時間（Spin-up Time）の仕様に対応して、どれくらいのトラックごとにバイアス力を測定するかが基準仕様に従って初期値に定められる。この例では、回転器具の前進時のみに128トラックごとに測定が遂行される。

【0086】以下、上記ステップ921のISR過程を図11、図12、図13を参照して詳細に説明する。図10の各ISR過程はサンプリング時間231.5 μ sごとに遂行され、図11の検索モードISR、図12の遷移モードISR、図13のトラック追従モードISRに区分され得る。

【0087】図11の検索モードISR過程

【0088】マイクロプロセッサ401は、現在サンプリング区間の以前サンプリング区間で計算された制御入力 $u(k)$ 値を出力してD/A変換器417及びVCM駆動器415を通じてVCM411に電流を印加する（ステップ1101）。次いで、マイクロプロセッサ401は、ヘッド407を通じて現在トラックIDを読み（ステップ1103）、現在トラックIDから現在位

置 P_r を定める（ステップ1105）。その後、マイクロプロセッサ401は、推定制御を計算し（ステップ1107）、次のサンプリング区間のための制御入力 $u(k+1)$ 値を計算する（ステップ1109）。

【0089】マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が16トラック以下の場合は（ステップ1111）、サーボフラグビジー（Servo Flag Busy）状態を記録する（ステップ1113）。その後、マイクロプロセッサ401は、遂行モードを遷移モードにセッティングし、図10のメインルーチンにリターンして遷移モードISRを遂行する（ステップ1115）。

【0090】一方、マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が16トラック以上の場合は（ステップ1111）、計数器がタイムアウト状態であるかどうかを比較する（ステップ1117）。この比較の結果、ステップ1117で計数器がタイムアウトの場合は、マイクロプロセッサ401は計数器タイムアウトエラーを記録し、検索モードISR過程を終了する。また、比較の結果、計数器がタイムアウトでない場合は、サーボフラグビジー状態を記録し、検索モードISR過程を継続して遂行する。

【0091】図12の遷移モードISR過程

【0092】マイクロプロセッサ401は、現在サンプリング区間の以前サンプリング区間で計算された制御入力 $u(k)$ 値を出力し、D/A変換器417及びVCM駆動器415を通じてVCM411に電流を印加する（ステップ1201）。その後、マイクロプロセッサ401は、ヘッド407を通じて現在トラックIDを読み（ステップ1203）、現在トラックIDからトランユニットを求めて現在位置 P_r を定める（ステップ1205）。次いで、マイクロプロセッサ401は、現在位置 P_r から推定制御を計算し（ステップ1207）、次のサンプリング区間のための制御入力 $u(k+1)$ 値を計算する（ステップ1209）。

【0093】マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が8トランユニット以下の場合には（ステップ1211）、サーボフラグビジー（Servo Flag Busy）状態を記録する（ステップ1213）。その後、遂行モードをトラック追従モードにセッティングし（ステップ1215）、図10のステップ921に戻ってトラック追従モードISR過程を遂行する。

【0094】一方、マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が8トランユニット以上の場合には（ステップ1211）、計数器がタイムアウト状態であるかどうかを比較する（ステップ1217）。その比較の結果、ステップ1217で計数器がタイムアウトである場合は、マイクロプロセッサ401は計数器タイムアウトエラーを記録し遷移モードISR過程を終了する。また、比較の結果、計数器がタイムアウト状態でない場合は、サーボフラグビジー状態を記録して遷移モー

ド I S R 過程を続ける。

【0095】図13のトラック追従モード I S R 過程

【0096】マイクロプロセッサ401は、現在サンプリング区間の以前サンプリング区間で計算された制御入力 $u(k)$ 値を出力し、D/A変換器417及びVCM駆動器415を通じてVCM411に電流を印加する(ステップ1301)。次いで、マイクロプロセッサ401は、ヘッド407を通じて現在トラックIDを読み出し(ステップ1303)、現在トラックIDでPESを求めて現在位置 P_r を定める(ステップ1305)。そして、マイクロプロセッサ401は、現在位置 P_r から推定制御を計算し(ステップ1307)、次のサンプリング区間のための制御入力 $u(k+1)$ 値を計算する(ステップ1309)。

【0097】マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が200PES以下の場合(ステップ1311)、セトリング動作を遂行してセトリング動作が完了したかどうかを判断する(ステップ1313)。

【0098】この例のトラック追従モードでは、セトリング動作は200PES(約20%のオフトラック量)に定められるが、読出及び書込動作時におけるセトリング条件を差別化して定める。すなわち、上述したセトリング条件の差別は、書込動作時に16サンプリング時間(3.7ms)の間に20%のオフトラックを維持すると、セトリング動作を完了させ、実際のディスク状記録媒体にデータを書込むようにする。また、読出動作時のセトリング条件の差別は、4サンプリング時間(0.93ms)の間に20%のオフトラックを維持すると、セトリング動作を完了させてディスク状記録媒体のデータを読出すようにする。

【0099】その後、ステップ1313で上述したセトリング動作が完了されたと判断すると、トラック追従モード I S R 過程を終了し、図10のメインルーチンにリターンしてこのメインルーチンを終了する。

【0100】一方、マイクロプロセッサ401は、移動距離 $(|P_e - P_r|)$ が200PES以上の場合(ステップ1311)、計数器がタイムアウトであるかどうかを比較する(ステップ1315)。その比較の結果、ステップ1315で計数器がタイムアウトの場合は、マイクロプロセッサ401は計数器タイムアウトエラーを記録し、遷移モード I S R 過程を終了する(ステップ1317)。また、比較の結果、計数器がタイムアウト状態でない場合は、サーボフラグビジー状態を記録してトラック追従モード I S R 過程を続ける(ステップ1319)。

【0101】以上の流れにおけるサーボフラグは8ビットが使用され、読出及び書込時のセトリング動作完了状態、ゲートアレイ427のエラー状態、及びサーボエ

ラー状態を示し、ディスク記録装置とホストとの間のインタフェースコードとして利用される。

【0102】

【発明の効果】以上述べてきたように本発明によれば、ディスク状記録媒体にデータの記録及び読出動作をするためのヘッドの位置を制御するために純粋なデジタルサーボ制御機構を使用することが可能で、従来のアナログやアナログ+デジタルの混合制御装置のような誤差を取り除くことができる。また、本発明はソフトウェアを利用した純粋デジタル制御方式であるため、製品の変更時でも単にソフトウェアに使用される制御定数及び制御段階の修正のみで対応できる。

【0103】さらに本発明によれば、推定器の使用によりヘッドの速度変数を正確に推定でき、VCM制御を容易にすることが可能である。また、バイアス推定を使用しているため外部妨害による正常状態エラーをなくすることができる。加えて、探索モードからトラック追従モードに転換される探索モード内の遷移モードで、グレーコードのみを使用した従来の速度制御の代わりにPESを追加使用した速度制御を用いたことにより、遷移モードで従来の速度制御より正確な速度制御を遂行できるようになり、トラック追従時のセトリングを安定化できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一般のHDDにおけるトラック移動距離に対するヘッドの移動速度を説明する特性図。

【図2】図1の減速区間を詳細に説明する特性図。

【図3】ディスク記録装置における従来のサーボ制御機構の制御系を示すブロック構成図。

【図4】本発明によるディスク記録装置の実施例を示すブロック構成図。

【図5】本発明によるデジタルサーボ制御系の一例を示すブロック構成図。

【図6】図5の構成において使用される推定器のブロック構成図。

【図7】本発明の実施例における検索及び遷移モード時の制御系ブロック構成図。

【図8】本発明の実施例におけるトラック追従モード時の制御系ブロック構成図。

【図9】本発明の実施例におけるディスク状記録媒体のトラックとA、Bバーストを説明する概略構成図。

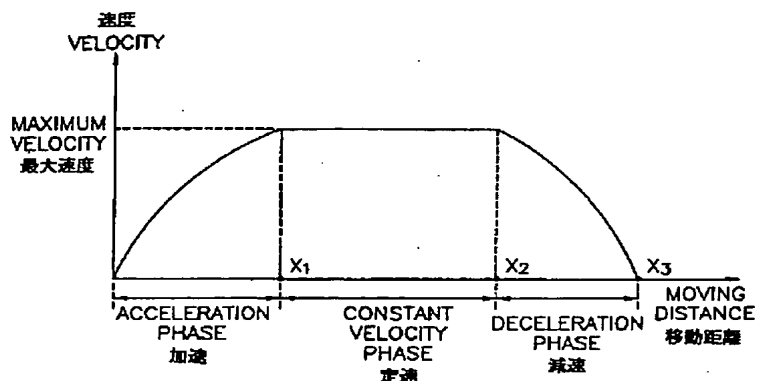
【図10】本発明の実施例において遂行される制御のメインフローチャート。

【図11】図10のフローチャートにおける検索モード I S R 過程を遂行するフローチャート。

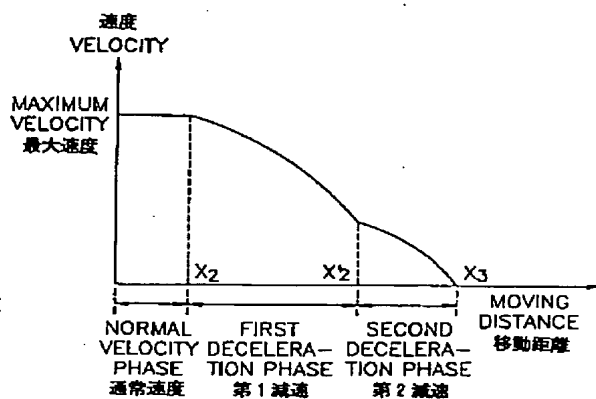
【図12】図10のフローチャートにおける遷移モード I S R 過程を遂行するフローチャート。

【図13】図10のフローチャートにおけるトラック追従モード I S R 過程を遂行するフローチャート。

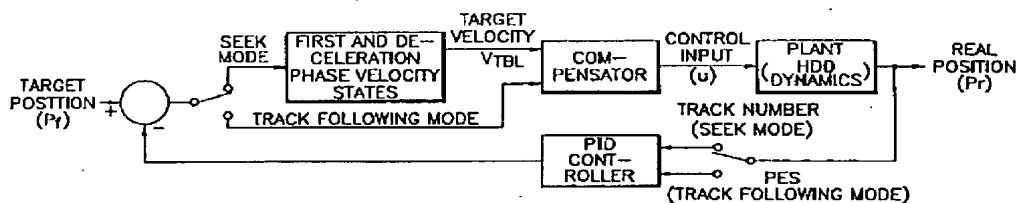
【図 1】



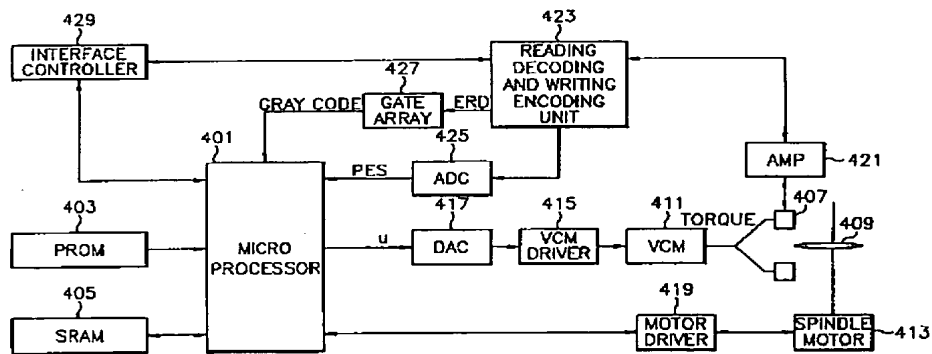
【図 2】



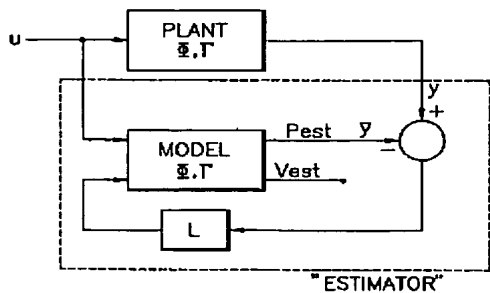
【図 3】



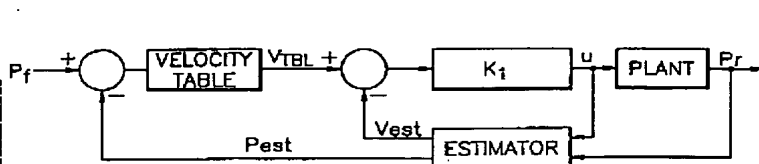
【図 4】



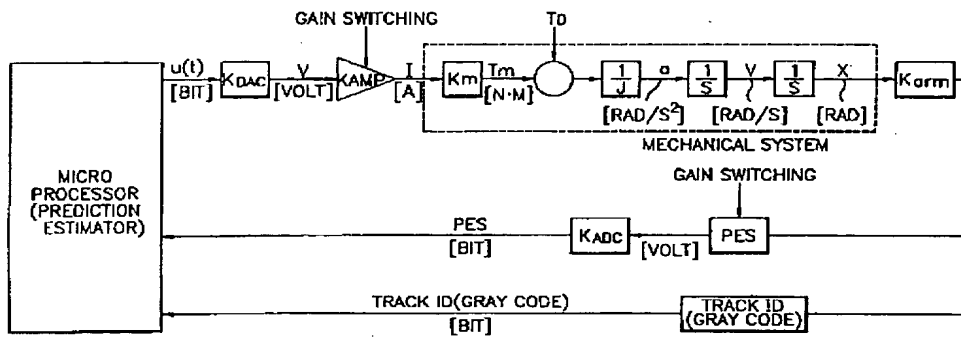
【図 6】



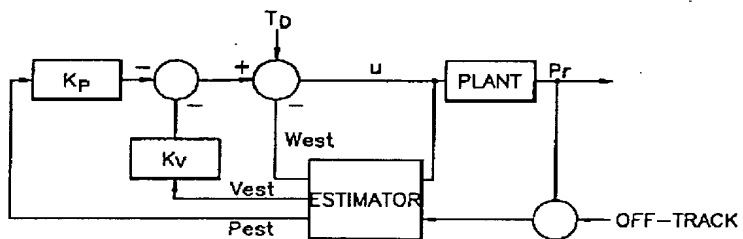
【図 7】



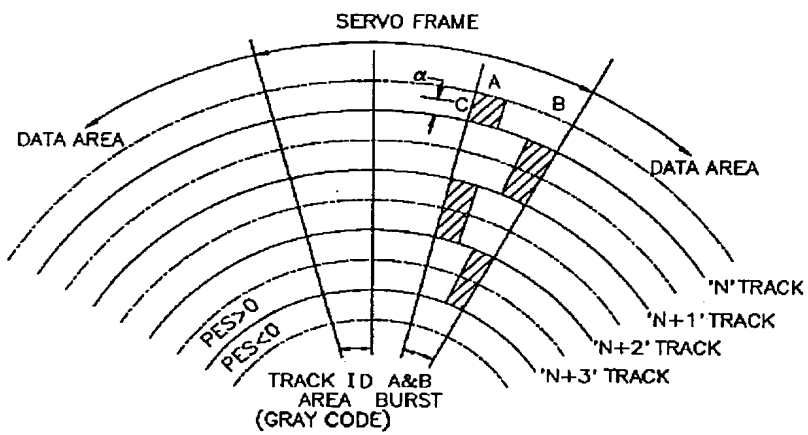
【图 5】



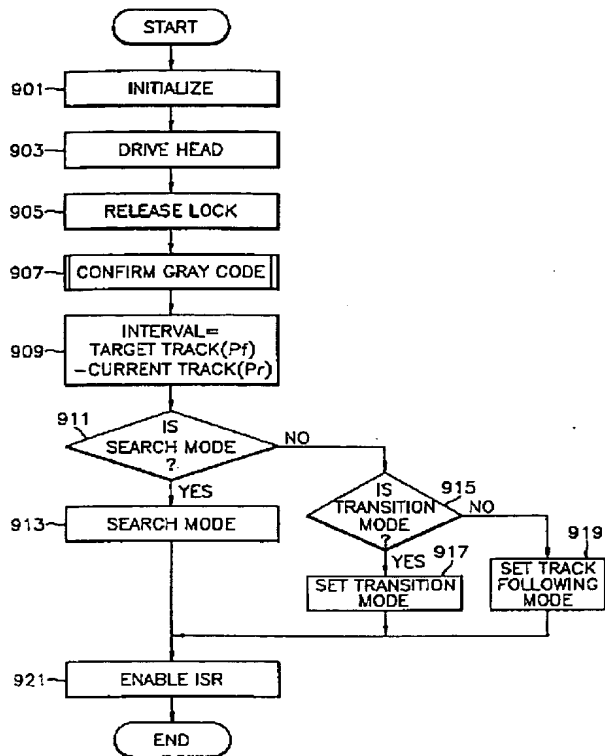
【図 8】



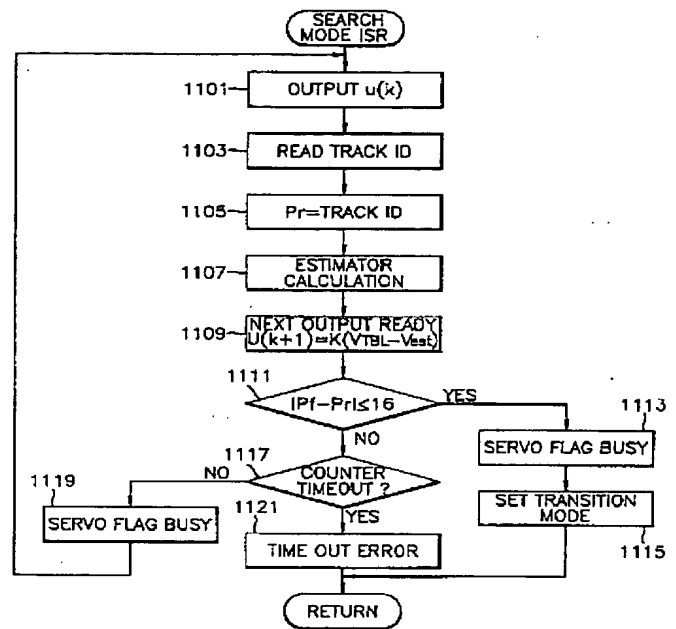
【図 9】



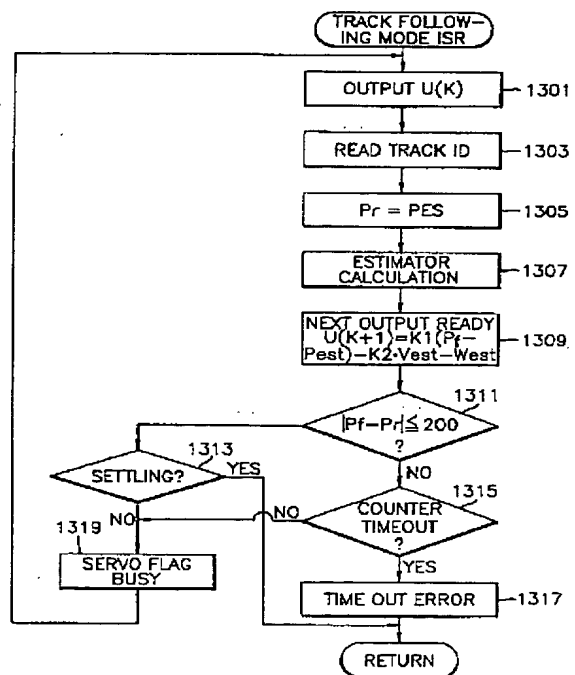
【図 10】



【図 11】



【図 13】



【図 12】

